

LOS HONGOS FORMADORES DE MICORRIZAS UNA ESTRATEGIA BIOLÓGICA PARA MEJORAR LAS PASTURAS TROPICALES

I.A. MSC OCTAVIO GONZÁLEZ M.
Departamento de Investigación y
Desarrollo • Abonamos S.A.

MPD 47632



Figura 1. Relación suelo – planta – animal CIPAV 2007

La ganadería colombiana es una actividad que genera impactos ambientales, que ha llevado a la pérdida de fertilidad y degradación del suelo. Para competir nacional e internacionalmente, la ganadería debe transformarse y ajustarse a la tendencia mundial de productos de alta calidad nutricional, libres de patógenos, no contaminantes y generados en sistemas de producción amigables con la naturaleza.

La productividad de la ganadería colombiana es baja frente a la de otros países; según el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, los indicadores promedio son muy bajos: 0,55 animales por Ha, 50 % de natalidad, lactancias de 800 litros o menos por año en el trópico bajo. Esta baja eficiencia en el uso de los recursos se traduce en altos costos de producción y consecuentemente, en rentabilidades marginales.¹

Es urgente la adopción de tecnologías para impactar la calidad del suelo con acciones dirigidas a su mejoramiento, que involucren un manejo orgánico y la utilización de inóculos microbianos como los hongos formadores de micorrizas y las bacterias fijadoras de nitrógeno. Esto permitirá optimizar la gran fortaleza del trópico “la energía solar” que, sumada al Nitrógeno (N) atmosférico y la mayor absorción de Fósforo (P) por las plantas, facilitará menor dependencia frente a los fertilizantes de síntesis y se podrá producir biomasa vegetal para los animales de forma sostenible.

PASTOS

¹ RESTREPO, Enrique et al. Montaje de modelos ganaderos sostenibles basados en sistemas silvopastoriles en seis subregiones lecheras de Colombia. Valledupar, César : Fundación Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria ; CIPAV, 2007.

Hoy es primordial reconocer la relación suelo-planta-animal (Figura 1), en sistemas de producción bovina y dentro de ella la importancia de la biología del suelo como factor determinante de la calidad de éste. Lo que finalmente tenemos, son pasturas establecidas sobre el suelo, sometidas a presión por un grupo de animales alimentándose de ellas e impactando negativamente el suelo. El buen desarrollo animal depende de la calidad de las pasturas con que se alimenten y ésta a su vez, depende de la calidad del suelo donde se establezcan, lo cual estará directamente influenciado por la actividad biológica y el componente orgánico del suelo. El manejo del suelo no puede circunscribirse exclusivamente al diagnóstico químico de la fertilidad del suelo y al hecho de suplir deficiencias con fertilizantes químicos; se hace necesario considerar conceptos de la fertilidad física del suelo, que involucren el manejo del agua y el oxígeno y así mismo la fertilidad biológica del suelo, que reconozca la actividad microbiana como aspecto determinante en los ciclos biogeoquímicos de los elementos nutrientes, principalmente en cuanto al N y el P, por ser altamente limitantes y deficitarios en los suelos tropicales.

En el país los sistemas de producción ganadera se realizan en suelos con baja disponibilidad de P y con una alta capacidad para retenerlo en formas no disponibles para las plantas. Esto es un fuerte

limitante para el crecimiento y desarrollo vegetal, por lo que se obtienen productividades bajas. Este problema se corrige empíricamente aportando altas cantidades de fertilizantes fosfóricos al suelo, con el agravante de que la eficiencia de la fertilización fosfórica en estos suelos es muy baja (3-5%). Esto no permite obtener adecuados niveles de rentabilidad, lo que desestimula a los productores. Una alternativa biotecnológica viable, sencilla y de fácil aplicación para los ganaderos, es el uso de hongos formadores de micorrizas (HFM), los cuales juegan un importante papel en la absorción de los nutrientes desde el suelo.

LOS SUELOS TROPICALES

Los suelos del trópico presentan un alto grado de evolución, lo que está directamente relacionado con su uso y manejo; en especial la alta acidez, la toxicidad por Aluminio (Al) y Manganeseo (Mn), los bajos niveles de bases intercambiables y el bajo contenido de P disponible. Estas características limitan el desarrollo de una ganadería de alta productividad ya que los rendimientos de las pasturas son bastante bajos. Es fundamental establecer prácticas de manejo acordes con su realidad química y mineralógica. Algunas de estas consisten en aplicar cal, enmiendas orgánicas, utilizar plantas tolerantes a Al y mejorar la eficiencia en la fertilización fosfórica, lo que se consigue con la implementación de estrategias biológicas que involucren la utilización de hongos formadores de micorrizas. En el trópico el alto intemperismo, ha generado altas tasas de meteorización de los aluminosilicatos, por lo que predominan los suelos del tipo Oxisoles y Ultisoles, con alta cantidad de Al en solución y pH ácido. El área total afectada por acidez del suelo representa 57% de los trópicos. Se ha estimado que alrededor del 80-85 % de los suelos de Colombia son ácidos.

Las formas iónicas del Al en ambientes ácidos se presenta como Al^{3+} , $Al(OH)^{2+}$ y $Al(OH)^{+}$, todas estas formas iónicas pueden causar toxicidad a las plantas si las raíces las absorben. Cochrane et al. (1980) afirman que en los suelos minerales a pH ≥ 5.5 no se encuentra Al intercambiable ni en la solución del suelo. La concentración de Al en la solución del suelo depende de su saturación en el complejo de cambio; cuando la saturación es mayor que 60% la concentración en la solución del suelo es mayor de 1 mg L⁻¹; concentraciones superiores a este valor pueden causar reducciones significativas en el rendimiento de los cultivos. La toxicidad de Al se elimina cuando el $Al(OH)_3$ se precipita, esto ocurre cuando su producto de solubilidad es excedido y en la medida que se polimeriza y se cristaliza. Si la cantidad absorbida es muy alta el Al interfiere en la división celular y por consiguiente se reducirá el crecimiento y desarrollo de las especies vegetales.

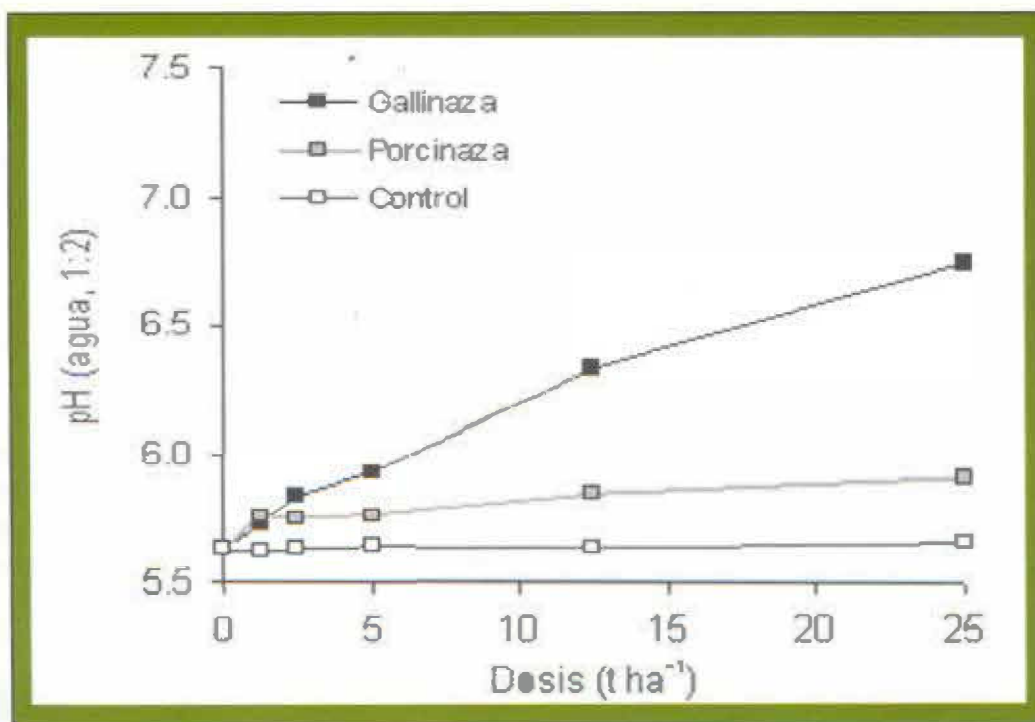


Figura 2 Efecto de la aplicación de los materiales orgánicos compostados sobre el pH de un Oxisol de Hawaii (Serie Wahiawa) (Osorio, Hue y Delisle, no publicado).

Varios mecanismos han sido propuestos para explicar la tolerancia a Al en las plantas: (i) morfología de la raíz, (ii) incremento en el pH de la rizosfera, (iii) menor translocación de Al desde las raíces hacia la parte aérea y (iv) liberación de aniones orgánicos que forma complejos estables con Al, (v) asociación con microorganismos en especial hongos formadores de micorrizas (HFM.). El manejo de la acidez no puede reducirse a la sola aplicación de calces, debe considerarse la acción conjunta de plantas tolerantes al Al, la aplicación de materia orgánica y de hongos formadores de micorrizas. Varios experimentos han corroborado los beneficios de la aplicación de residuos orgánicos, abonos verdes y compost en el manejo de suelos ácidos. Parece ser que los efectos son múltiples porque no sólo disminuyen la concentración de formas fitotóxicas de Al sino que también suplen nutrientes

para las plantas. Este efecto puede apreciarse en la Figura 2, donde se aprecia el aumento del pH mediante la aplicación de materiales compostados.

EL FÓSFORO EN EL TRÓPICO

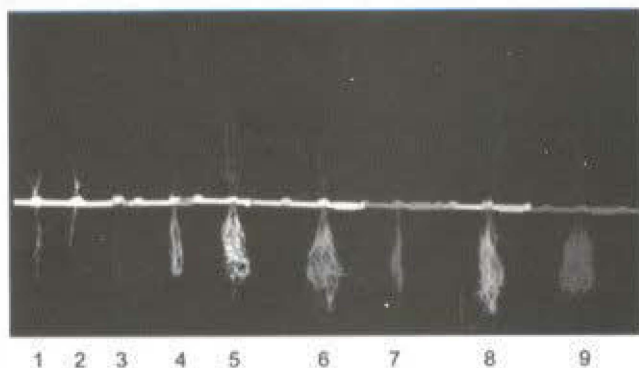
En el ciclo del P no se forman compuestos volátiles que le permitan pasar de los océanos a la atmósfera y desde allí a tierra firme, por lo que es un ciclo bastante lento. El P se encuentra como roca fosfórica natural o apatita y se libera de éstas por meteorización, pasando a los cuerpos de agua en donde se sedimenta formando sales de Calcio, Hierro (Fe) y Al (Atlas y Bartha, 2001). El estudio del comportamiento del P en el suelo es de gran importancia, ya que es un macroelemento esencial generalmente escaso en muchos suelos del trópico (Olsen y Watanabe, 1966). El P está sujeto al fenómeno de fijación, que significa la pérdida

de solubilidad que sufren los fosfatos aprovechables al reaccionar con los componentes del suelo (Harrison et al., 2002). La productividad de la mayoría de los ecosistemas terrestres puede aumentarse si se incrementa la cantidad de P disponible en el suelo (Shinano et al., 2004). En Colombia abundan los suelos Andisoles, Oxisoles y Ultisoles que tienen alta tendencia a fijar P y en consonancia exhibir muy bajo contenido de P disponible. En estos suelos se presentan minerales como alúmina y óxidos e hidróxidos de Fe y Al, con una alta superficie específica y con carga eléctrica positiva, que explican la alta absorción de aniones (Barber, 1997; Bolan, 1991).

La proporción de P en la materia viva es baja pero el papel que desempeña es vital, después del N, es el elemento de mayor importancia para el desarrollo de las plantas (Mason et al., 2000).

Cumple un importante papel en la fotosíntesis, respiración, almacenamiento y transferencia de energía, división y crecimiento celular y promueve la rápida formación y crecimiento de las raíces (Atlas y Bartha, 2001). Químicamente el P puede encontrarse en el suelo en forma inorgánica, orgánica, absorbida, ocluida y/o en solución (Bolan, 1991). Las raíces lo absorben como $H_2P_04^-$ y/o HPO_4^{2-} ; la disponibilidad está determinada por factores como pH del suelo, presencia de Fe, Al, Mn y Calcio (Ca), cantidad y descomposición de materia orgánica y la actividad de microorganismos (Barber, 1997).

Soil pH Ca 4



Soil pH Ca 5

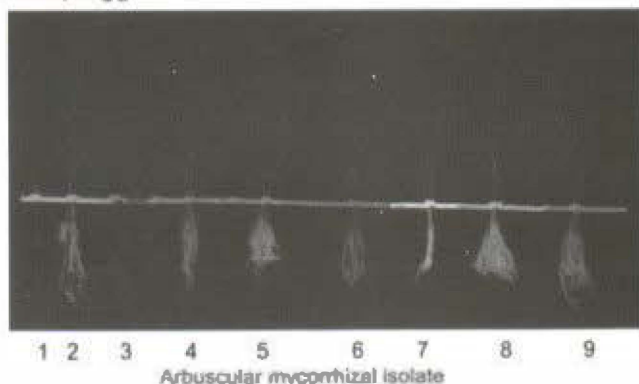


Figura 3. Fotografía de plantas Micorrizadas de *Panicum virgatum* creciendo a pH 4 y pH 5. 1=Sin HFM, 2=G. intraradices, 3=Gi. rosea, 4=Gi. albida, 5=G. etunicatum, 6=Gi. margarita, 7=A. morrowiae, 8=G. diaphanum and 9=G. clarum. (Clark et al. 1999)

La alta capacidad de retención de P que exhiben los suelos del trópico, limita la eficiencia de la fertilización fosfórica, ya que el fosfato de los fertilizantes es rápidamente precipitado o absorbido (Ozane y Shaw 1967). Blal et al. (1990) reportan que la inoculación con hongos formadores de micorrizas (HFM), incrementa la eficiencia de la fertilización fosfórica para plantas creciendo en suelos ácidos altamente fijadores

de P, por lo cual se considera una alternativa de manejo apropiada. Nutrientes como P, N o agua, son fuertemente limitantes del crecimiento de las plantas en suelos tropicales; las plantas en estos ambientes se adaptan incrementando su habilidad para competir por nutrientes, estableciendo asociación con hongos del suelo tales como los HFM (Muthukumar et al., 2003). Yano y Takaki (2005) reportan que los HFM están involucrados en la tolerancia de las especies a suelos ácidos, ya que la simbiosis mejora el desarrollo de la raíz. Este efecto se aprecia en la Figura 3, donde plantas *Panicum* colonizadas con HFM, desarrollan un buen sistema de raíces en suelos con alta acidez donde el Al es altamente disponible y con alto riesgo a ser fitotóxico.

MEZCLA DE PASTOS Y LEGUMINOSAS

El proceso celular de fijación biológica de nitrógeno (FBN) es muy exclusivo y particular; de los tres dominios celulares, archa, bacterias y eucariota, solo en los dos primeros que son procariontes se ha detectado la fijación. Su desarrollo ha acompañado la evolución del ambiente; bajo ausencia de oxígeno y baja disponibilidad de materia orgánica exhibida al inicio de la vida, la dependencia del N, esencial para la formación celular tenía que proceder del aire. La FBN se entiende como la incorporación a la célula de N_2 mediada por microorganismos a través de la síntesis de la enzima nitrogenasa.



Figura 4. Efecto de la aplicación combinada de hongos formadores de micorrizas y bacterias fijadoras de N, sobre el crecimiento de la leguminosa Lotus y pasto kikuyo en la finca El Golan (Santa Rosa Antioquia).

El gran reto de los ganaderos, consiste en incrementar la producción de carne y leche, conservando a la vez los recursos naturales; por lo que deberán minimizar la compra de insumos químicos y reducir la contaminación. Una ganadería moderna, tiene que ser sinónimo de rentabilidad y competitividad y si bien son muchos los factores involucrados, el factor más importante es la alimentación. Es importante buscar en el trópico nuevas alternativas forrajeras para desarrollar sistemas de producción animal. La investigación en forrajes ha generado y producido gramíneas y leguminosas con potencial, para aumentar la producción animal en sistemas de pastoreo (Lascano et al. 1996). En la Figura 4, se aprecia una mezcla de pasto kikuyo y la leguminosa Lotus creciendo adecuadamente en suelos ácidos del norte de Antioquia, gracias a la inoculación dual de HFM y bacterias fijadoras de N.

Está bien documentado que las leguminosas, seleccionadas para suelos ácidos, en asociación con gramíneas, contribuyen a aumentar entre 20 y 30 % la producción de leche y carne de animales en sistemas de pastoreos (Lascano y Ávila, 1991). Utilizar leguminosas en asociación con gramíneas, representa una opción para solucionar el problema de la alimentación del ganado en el trópico. Una de las alternativas para mejorar la calidad de las praderas tropicales, es la introducción de leguminosas persistentes y compatibles con gramíneas. La forma de utilizar

las leguminosas como factor para mejorar la alimentación animal, ya sea en asociación con gramíneas o en banco de proteína, dependerá del programa de manejo y la disponibilidad de terreno en las unidades de producción. La asociación de gramíneas con leguminosas, representa una opción económica, para mejorar la producción animal en las regiones tropicales.

Las leguminosas suministran N al suelo por medio de la fijación simbiótica de este elemento, que consiste en la asociación con algunas bacterias de la familia Rhizobiaceae. Estas bacterias infectan las raíces de la planta e inducen la formación de nódulos radicales, en el interior de los cuales se realiza la fijación. Las bacterias le ceden el N a la planta y a su vez ésta le suministra al nódulo los carbohidratos que producen la energía necesaria para el proceso de fijación (Sylvester et al., 1987). La reducción del N_2 a NH_4^+ exige un costo energético en forma de ATP bastante alto, por lo que las leguminosas son altamente demandantes de P, para garantizar el abastecimiento de fosfato en el proceso. Está demostrado el establecimiento de dobles simbiosis entre leguminosas con bacterias fijadoras de N y HFM. En el uso y manejo de especies leguminosas con pastos tropicales, es necesario garantizar un adecuado abastecimiento de P para que el proceso de FBN se dé adecuadamente. Estudios en este sentido han sido desarrollados por (Borie y otros 1996) (Figura 5)

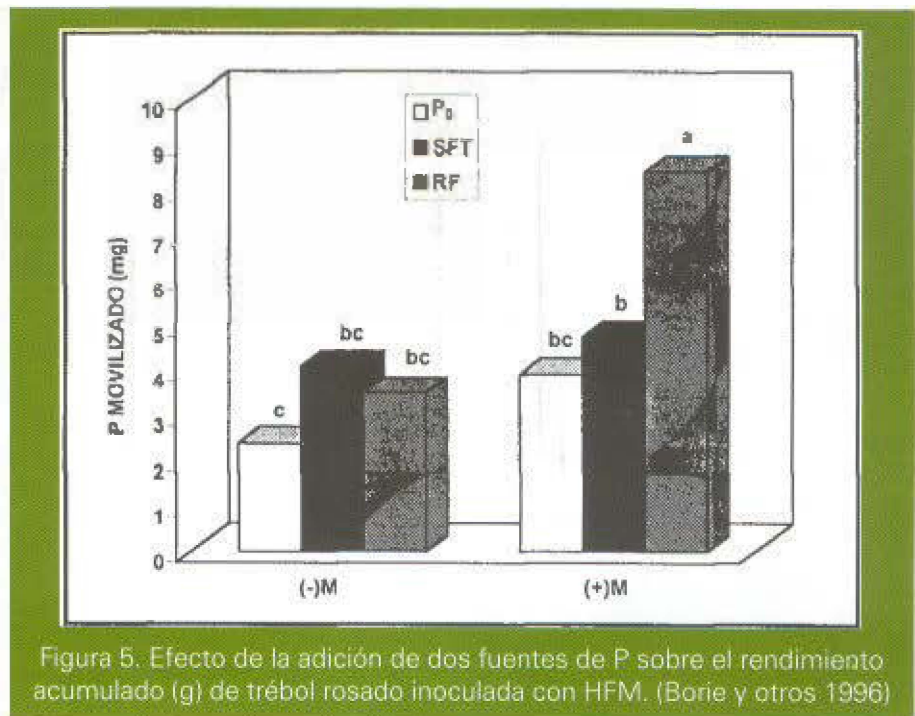


Figura 5. Efecto de la adición de dos fuentes de P sobre el rendimiento acumulado (g) de trébol rosado inoculada con HFM. (Borie y otros 1996)

que reportan que la mayor absorción de P y N por la planta, se obtuvo con la inoculación con HFM coincidiendo con el número de nódulos. Lo que sugiere que ambas simbiosis funcionaron sinérgicamente. Las leguminosas tropicales se benefician de la doble simbiosis, mejorando su rendimiento y la utilización de las fuentes de P.

HONGOS FORMADORES DE MICORRIZAS HFM

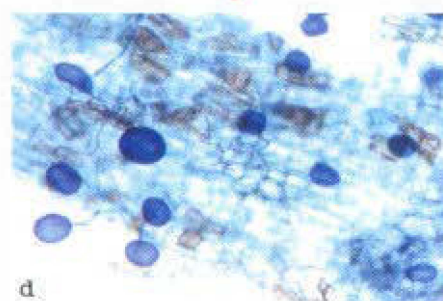
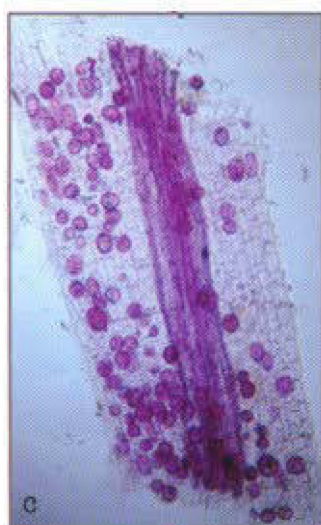
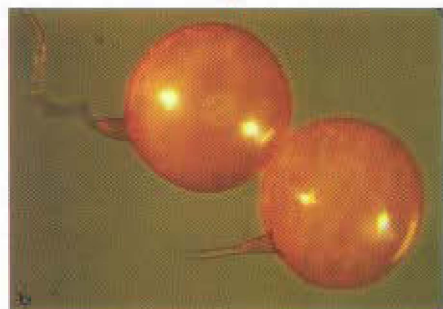
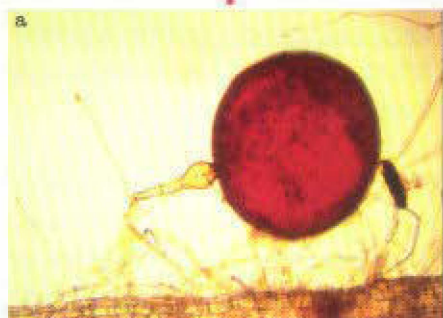


Figura 6. Estructuras de hongos formadores de micorrizas a y b esporas, c y d raíces de pasto *Brachiaria* colonizadas con HFM.

El término micorriza significa hongo-raíz, proviene del vocablo griego mykos (hongo) y del vocablo latín rhiza (raíz). La palabra fue usada por el botánico alemán Albert Bernard Frank en el año 1885, para describir la asociación mutualista que existe entre un grupo de hongos del suelo y las raíces de las plantas. La asociación se establece de forma natural y constante entre las raíces de la mayoría de las plantas; 95% de las especies vegetales y ciertos hongos del suelo del phylum Glomeromycota (Schubler, et al., 2001), caracterizados porque producen, a lo largo de su ciclo de vida, unas estructuras conocidas como arbusculos (en todos los casos) y vesículas (en la mayoría de ellos). Las vesículas son estructuras globosas e irregulares que actúan como órganos de reserva de lípidos (Figura 6c y 6d). Los arbusculos son las estructuras responsables de la transferencia bidireccional de nutrientes entre los simbioses, realizada en la interfase planta-hongo. Las esporas de estos hongos deben germinar (Figura 6a y 6b), para que se puedan desarrollar los procesos de colonización de la raíz. Los HFM no exhiben un reconocimiento de un grupo taxonómico de plantas en especial y se conoce que alrededor de 150 especies de HFM colonizan más de 240.000 especies de plantas en casi todos los hábitats naturales (Hodge, 2000, Rillig 2004). Al considerar aspectos filogenéticos y ecológicos, para Parniske, (2004) la simbiosis entre plantas y HFM, debe ser

considerada la más importante interacción entre plantas y microorganismos.

El beneficio obtenido con los HFM radica en su eficiencia para captar, translocar y transferir nutrientes de baja difusividad de la solución del suelo a la planta huésped (Habte y Osorio, 2001). Las hifas externas de los HFM se extienden 10 a 12 cm desde la superficie de la raíz, captando a su paso los nutrientes de lenta difusión (P, Cu, Zn) (Bolan, 1991). Ello supera la zona de captación de P por parte de la raíz, la cual es de solo 1 a 2 mm. Se ha reportado que por cada cm de raíz colonizada hay en promedio 1 m de hifas micorrizales; incluso se han reportado valores de 10 a 14 m de hifas por cada cm de raíz colonizada (Johansson, et al., 2004). La eficiencia de los HFM para la captación de iones fosfato, se debe al incremento en el área de suelo explorada por las hifas extrarradicales y a la existencia de proteínas transportadoras de P de alta afinidad, las cuales se expresan tanto en las hifas extrarradicales como en las membranas periarbusculares. Estas proteínas se constituyen en sistemas simporte que se expresan a bajas concentraciones de P en la solución del suelo permitiendo la captación eficiente de iones fosfato (Smith et al. 2003). Los HFM son biotrofos obligados, ya que durante la larga evolución de la relación simbiótica, el hongo perdió la capacidad para fijar carbono o la maquinaria genética para hacerlo y llegó a ser completamente dependiente

de una planta hospedera (Gadkar et al., 2001). El establecimiento de la asociación implica la creación de fuertes interdependencias, donde el hongo pasa a ser una parte más del sistema radical, tan perfectamente integrado, que no es posible su desarrollo sin la participación de la planta hospedadora, la cual puede tener mayor o menor grado de dependencia por el hongo (Barea et al., 2002).

Los HFM actúan a varios niveles, provocando alteraciones morfológicas y anatómicas en las plantas hospedadoras como cambios en la relación masa aérea raíz, en la estructura de los tejidos radicales, en el número de cloroplastos, aumento de la lignificación y alteración de los balances hormonales. Tales efectos no son sólo explicables como una simple mejora nutritiva de la planta debida al aumento en la absorción de nutrientes, sino que responde a cambios metabólicos más profundos y complejos debidos a la integración fisiológica de los simbioses (Rodríguez et al., 2003). Los principales efectos de la inoculación de HFM en pasturas son: (a) estimulación del enraizamiento (b) mejora de la supervivencia y el desarrollo durante la aclimatación de plantas; (c) reducción de los requerimientos externos en fosfato; (d) incremento de la resistencia de las plantas al ataque de patógenos que afectan a la raíz; (e) mejora de la tolerancia a estrés abiótico; (f) uniformidad en la producción (Kahiluoto et al., 2000).

CONSIDERACIONES FINALES

En nuestro país, predominan los suelos ácidos con abundante Al y deficiencia en nutrientes. La movilidad del P en la solución del suelo es muy lenta por lo que la tarea de captar el P recae en las hifas de los HFM. Aunque la simbiosis hongo – planta se encuentra muy extendida en todo el ecosistema terrestre, la degradación del suelo y el uso indiscriminado de sustancias químicas han obligado al hombre, a crear nuevas alternativas de intervención, como la utilización de inóculos micorrízicos. Está demostrado, el efecto benéfico que tiene el uso de diferentes microorganismos del suelo como alternativa para la nutrición de las plantas, la defensa de los suelos contra la degradación y la protección fitosanitaria de

los cultivos. El ser humano ha logrado aislar y reproducir de manera apropiada a estos microorganismos, convirtiéndolos en un gran aliado de los agricultores. El aislamiento de las micorrizas abre nuevos horizontes en el campo de la producción agropecuaria en lo relacionado con el uso y manejo de pasturas.

La aplicación de inóculos micorrízales debe dirigirse al sistema de raíces de la planta, lográndose los mayores beneficios en las etapas de establecimiento de las pasturas. La mezcla con fertilizantes químicos o materiales orgánicos, debe hacerse previo análisis del suelo y por recomendación del personal técnico. Dado que la asociación micorrízal puede desarrollarse sin especificidad entre diversas plantas, los inóculos micorrízales son ampliamente recomendados para una gran variedad de especies vegetales y condiciones de suelo, las cantidades de inóculo dependerán del tamaño y edad de la planta y del tipo de suelo.

La producción sostenible de pasturas en los trópicos es a menudo muy limitada por la fragilidad de los suelos, siendo propensas a diversas formas de degradación. Hacer un mejor uso de los recursos biológicos en los suelos puede contribuir a una mayor sostenibilidad. Los hongos formadores de micorrizas constituyen un importante recurso biológico; su contribución a la biología, química y física del suelo ha sido reconocida, aunque muchos interrogantes existen aún acerca de cómo manejar apropiadamente estos hongos benéficos. Es necesario de estudios estratégicos en este campo, que busquen la mejora de la fertilidad del suelo y la diversidad biológica, para que los productores agropecuarios en los trópicos utilicen menos el aporte de nutrientes, a través de la fertilización tradicional y más alrededor de bioinsumos y materiales orgánicos (Cardoso y Kuyper 2006).

GLOSARIO

- **Adsorción:** Proceso de atracción de las moléculas e iones de una sustancia en la superficie de otra.
- **Alófana:** Coloide de los Andisoles. Exhiben altos grados de fijación especialmente de fósforo.

- **Andisoles:** Suelos derivados de ceniza volcánica caracterizados por su color negro y por la formación de complejos organominerales.
- **Apatita:** Mineral conformado principalmente por fosfato de calcio. Se constituye en la fuente natural del fósforo.
- **ATP:** Molécula rica en fosfato generadora de energía en los organismos. Esta molécula se produce por medio de los procesos de respiración.
- **Bioestimulante:** Producto de origen biológico utilizado con fines de nutrición vegetal, manejo integrado de plagas o mejoramiento de las características biológicas del suelo. Incluye: Agentes Biológicos para el Control de Plagas, Inoculantes biológicos, Bioabonos, Inóculos microbiales para compostaje y Productos Bioquímicos.
- **Biotrofos obligados:** Microorganismos que dependen completamente de un huésped vivo para garantizar su máximo desarrollo. Los HFM son biotrofos obligados.
- **Ciclos Biogeoquímicos:** Representan los cambios que sufren los elementos químicos que hacen parte de los seres vivos en su vía cíclica por la biosfera, en ellos participan todos los organismos presentes en los distintos niveles tróficos. Los más importantes son el ciclo del carbono, nitrógeno y fósforo.
- **Difusividad:** Coeficiente que indica la facilidad que ofrece un material al paso de vapor de agua.
- **Endomicorriza:** A la asociación micorrizo-arbuscular se le denomina endomicorriza, que son biótrofos obligados que colonizan las células de la raíz para obtener fuentes de carbono de la planta hospedera. Además de crecer al interior de la raíz, el hongo desarrolla una red de hifas externas las cuales absorben y translocan fosfato y otros nutrientes del suelo a la raíz.
- **Espora y Esporas Viables:** Las esporas son estructuras que emite el hongo para garantizar su supervivencia en condiciones adversas (estrés). No todas las esporas producidas por el hongo germinan, es decir no todas emiten micelio para colonizar la raíz. Una espora viable es aquella en la cual se aprecia claramente la emisión de un tubo germinativo que será el que colonizará la raíz.
- **Esporocarpo:** Es una estructura producida por la aglomeración de esporas en forma de racimo. Los esporocarpos son característicos sólo de algunas especies de HFM entre ellos *G. agregatum*.
- **Especie:** Grupo de individuos que comparten características genéticas de alta similitud, pero lo suficientemente diferentes como para ser identificados como individuos.
- **FBN:** Fijación biológica de nitrógeno. Proceso que implica la reducción de nitrógeno gaseoso a formas biodisponibles por bacterias del suelo.
- **Fertilizantes Fosfóricos:** Productos de origen natural o sintético que contienen fósforo, generalmente en términos de P_2O_5 . Altos contenidos de estos fertilizantes pueden inhibir la colonización de los HFM, al limitarse los mecanismos de señalización planta hongo.
- **Fitotóxicas:** Cualquier elemento o sustancia que ejerce un efecto tóxico sobre alguna especie vegetal.
- **Fijación:** Proceso físico-químico que implica el paso de formas disponibles en la solución del suelo a formas no disponibles por el fenómeno de adsorción.
- **Hifas Extrarradicales:** Micelio que emite el hongo al exterior de la raíz una vez se ha establecido.
- **Hongo Formador de Micorrizas (HFM):** El término micorriza, significa hongo-raíz, viene del griego MYKOS (hongo) y del vocablo latín RHIZA (raíz). La palabra describe la asociación mutualista que existe entre un grupo de hongos del suelo y las raíces de las plantas.
- **Inóculo:** Producto elaborado con base en una o más cepas de microorganismos benéficos que, al aplicarse al suelo, promueve el crecimiento vegetal o favorece el aprovechamiento de los nutrientes en asociación con la planta o su rizósfera.
- **Intemperismo:** Meteorización.

- **Meteorización:** Proceso de desgaste de la superficie terrestre debido a fenómenos físico – químicos.
- **Nitrogenasa:** Enzima que cataliza el proceso de reducción de nitrógeno en la FBN.
- **Nódulo:** Estructura formada por la simbiosis entre bacterias de la familia Rhizobiaceae y leguminosas.
- **Oxisoles:** Suelos tropicales de naturaleza ácida, caracterizados por ser de color rojo por su elevado contenido de óxidos de hierro.
- **Propágulos infectivos:** Los hongos formadores de micorrizas se caracterizan porque producen, a lo largo de su ciclo de vida, unas estructuras conocidas como arbusculos (en todos los casos), vesículas

(en la mayoría de ellos), micelio externo y esporas; cada una de estas estructuras se constituye en un propágulo infectivo a partir del cual se puede formar un nuevo hongo.

- **Raíces Micorrizadas:** Raíces que han sido infectadas (colonizadas) por las estructuras de los HFM.
- **Rhizobiaceae:** Familia de bacteria con capacidad de fijar biológicamente el nitrógeno y que establecen simbiosis con leguminosas.
- **Rizosfera:** Volumen de suelo próximo a la raíz. Se considera un espacio de dos a tres milímetros.
- **Ultisoles:** Suelos tropicales de naturaleza ácida, altamente evolucionados y con altos contenidos de arcillas de baja actividad.

BIBLIOGRAFÍA:

- ATLAS, R. y BARTHA. Ecología microbiana y microbiología ambiental. Addison Wesley. 2001.
- BARBER, S. A. Soil Nutrient Bioavailability. A mechanistic approach. New York: E. Willey interscience, 1997. 398 p.
- BAREA, J.M. AZCON, R. and AZCON-AGUILAR, C. Mycorrhizosphere interactions to improve plant fitness and soil quality. *In: Antonie van Leeuwenhoek* 81: 343–351. 2002.
- BLAL, B. et al. Influence of vesicular-arbuscular mycorrhizae on phosphate fertilizer efficiency in two tropical acid soils planted with micropropagated oil palm (*Elaeis guineensis* jacq). *In: Biology and Fertility of Soils*. No.9 (1990); p. 43-48.
- BOLAN, N.S. A critical review on the role of mycorrhizal fungi in the uptake of phosphorus by plants. *In: Plant and Soil*. Vol.134 (1991); p.189 – 293.
- BORIE, FERNANDO et al. Efecto de la roca fosfórica sobre la doble simbiosis de hongos micorrizógenos – VA y *Rhizobium* en trébol rosado. *En: Agricultura técnica*. Vol. 56, no.4 (1996); p. 237-243.
- CARDOSO, IRENE M. and KUYPER, THOMAS W. Mycorrhizas and tropical soil fertility. *In: Agriculture, Ecosystems and Environment*. Vol.116 (2006); p. 72–84.
- CLARK, R.B.; ZETO, S.K and ZOBEL, R.W. Arbuscular mycorrhizal fungal isolate effectiveness on growth and root colonization of *Panicum virgatum* in acidic soil. *In: Soil Biology and Biochemistry*. Vol. 31 (1999); p.1757-1763.
- COCHRANE, T.T.; SALINAS, J.G. and SÁNCHEZ, P. An equation for liming acid mineral soils to compensate crop aluminum tolerance. *In: Trop. Agric.*, Vol. 57, no. 2 (1980); p. 133-140.
- GADKAR, VIJAY et al. Arbuscular mycorrhizal fungal colonization. Factors involved in host recognition. *In: Plant Physiology*. Vol. 127 (2001); p. 493-1499.
- HABTE, M. and OSORIO, N.W. 2001. Arbuscular Mycorrhizas: Producing and applying Arbuscular Mycorrhizal Inoculum. Honolulu: University of Hawaii, 2001. 47 p.
- HARRISON, M.J. DEWBRE, G.R. and LIU, J. A phosphate transporter from *Medicago truncatula* involved in the acquisition of phosphate released by arbuscular mycorrhizal fungi. *In: The Plant Cell*. Vol. 14 (2002); p. 2413-3429.
- HODGE, A. Microbial ecology of the arbuscular mycorrhiza. *In: Microbiology Ecology*. Vol. 32 (2000) ; p. 91- 96.
- JOHANSSON, E. LESLIE, R. and FINLAY, R. Microbial interactions in the mycorrhizosphere and their significance for sustainable agriculture. *In: Plant and Soil*, 0: 1–21 (2004).
- KAHILUOTO, H. KETOJA, E. and VESTBERG, M. Promotion of utilization of arbuscular mycorrhiza through reduced P fertilization. Bioassays in a growth chamber. *In: Plant and Soil*. Vol. 227 (2000); p. 191–206.
- LASCANO, C. E., ÁVILA, P. Y RAMÍREZ, G. Aspectos metodológicos en la evaluación de pasturas en fincas con ganado de doble propósito. *En: Pasturas Tropicales* Vol.18, no.3 (1996); p. 65-70.

- LASCANO, C.E. Y ÁVILA, P. Potencial de producción de leche en pasturas solas y asociadas con leguminosas adaptadas a suelos ácidos. *En: Pasturas Tropicales*. Vol.13, no.3 (1991); p. 2-10.
- MASON, P.A. et al. The effect of reduced phosphorus concentration on mycorrhizal development and growth of *Eucalyptus globulus* Labill. Seedlings inoculated with 10 different fungi. *In: Forest Ecology and Management*. Vol. 128 (2000); p. 249-258.
- MUTHUKUMAR, T. et al. Distribution of roots and arbuscular mycorrhizal associations in tropical forest types of Xishuangbanna, southwest China. *In: Applied Soil Ecology*. Vol. 22 (2003); p. 24-53.
- OLSEN, S.R. and WATANABE, F.S. Effective volume of soil around plant roots determined from phosphorus diffusion. *In: Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* Vol. 30 (1996); p. 598-602.
- OZANE, P.G. and SHAW, T.C. Phosphate sorption by soils as a measure of the phosphate requirement for pasture growth. *In: Australian Journal Agriculture Research*. Vol.18 (1967); p. 601-612.
- PARNISKE, M. Molecular genetics of the arbuscular mycorrhizal symbiosis. *In: Plant Biology*. No.7 (2004); p. 414-421.
- RILLING, M. Arbuscular mycorrhizae and terrestrial ecosystem processes. *In: Ecology Letters*. No.7 (2004); p. 740-754.
- RODRÍGUEZ, H. et al. Genetics of phosphate solubilization and its potential applications for improving plant growth-promoting bacteria. *In: Applied Soil Ecology*. Vol. 26 (2003); p. 249-255.
- SÁNCHEZ, P. and LOGAN, T. Myths and science about the chemistry and fertility of soils in the tropics. *In: Lal, R. and Sánchez, P. Myths and science of soils of the tropics*. Madison, SSSA. 1992. P. 35-46.
- SCHUBLER, A.; SCHWARZOTT, D. and WALKER, C. A new fungal phylum, the Glomeromycota: phylogeny and evolution. *In: The British Mycological Society*. Vol. 105 (2001); p. 1413-1421.
- SHINANO, T. et al. Evaluation of phosphorus starvation inducible genes relating to efficient phosphorus utilization in rice. *In: Plant and Soil*. 0: 1-7 (2004).
- SMITH, S.E.; SMITH, A. and JAKOBSEN, I. Mycorrhizal Fungi Can Dominate Phosphate Supply to Plants Irrespective of Growth Responses. *In: Plant Physiology*. Vol. 133 (Sep. 2003); p. 16-20.
- SYLVESTER, B. R.; KIP, N. J. A. Y HARRIS, D. J. Simbiosis leguminosas - Rizobio: Evaluación, Selección y Manejo. Cali: Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), 1987.
- YANO, K. and TAKAKI, M. 2005. Mycorrhizal alleviation of acid soil stress in the sweet potato (*Ipomoea batatas*). *In: Soil Biology and Biochemistry*. Vol. 37 (2005); p. 1569-1572.

Úrea Fertilizantes Sales Concentrados

Agro **Colanta**

Su amigo en el campo.